

УДК 677.01
DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_80

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА СПЕЦОДЕЖДЫ ИЗ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ТКАНЕЙ*

ENSURING THE REQUIRED QUALITY LEVEL OF WORKWEAR MADE OF NANOMODIFIED FABRICS

Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, В.В. ХАММАТОВА
R.F. GAINUTDINOV, V.V. KHAMMATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)
(Kazan National Research Technological University)

E-mail: venerabb@mail.ru

*Представлены результаты научного исследования, ориентированного на решение проблем повышения качества натуральных текстильных материалов для специальной одежды. Цель работы заключалась в разработке способа получения наномодифицированных текстильных материалов для спецодежды за счет предварительной плазменной обработки в потоке неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления, а затем пропитки коллоидным раствором наночастиц серебра, что позволило повысить разрывную нагрузку, относительное разрывное удлинение и биостойкость опытных образцов. Объектом исследования выбрана специальная одежда, изготовленная из парусины полутьняной с содержанием 100% целлюлозосодержащих волокон и сукна шинельного на основе 87% шерстяных, 13% полиэфирных волокон. Для экспериментальных исследований контрольных и наномодифицированных образцов использовали разрывную машину МТ110-5, а для определения биостойкости образцов применяли тест-культуры *Bacillus subtilis* и *Escherichia coli* O55. Наномодифицирова-*

* Исследование проведено с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» Казанского национального исследовательского технологического университета при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России в рамках гранта № 075-15-2021-699.

ние текстильных материалов для спецодежды проводили с использованием промышленной плазменной установки периодического действия «ВАТТ 1500 ПТ ПЛАЗМА», а затем материалы пропитывали коллоидным раствором наночастиц серебра для придания антимикробных свойств. Выявлено, что в результате наномодифицирования разрывная нагрузка парусины полупеньной повысилась на 22,3 - 26,3%, а сукна шинельного на 130 - 140%; относительное разрывное удлинение соответственно повысилось на 35,9% и 86,7%. При этом снижение разрушающей нагрузки под действием микрофлоры *Bacillus subtilis* в контрольных образцах составило 2,49% в сутки и в наномодифицированных 0,51% в сутки, под действием бактерий *Escherichia coli* O55 соответственно 2,54% и 0,61% в сутки. Установлено, что максимальное значение показателей механических свойств парусины полупеньной достигается при концентрации наночастиц серебра 0,3% и плазменной обработке в потоке ННТП пониженного давления: при рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=20-22$ Па, времени воздействия $\tau=2$ м/мин, мощности разряда $W_p = 1,7$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{возд} = 0,04$ г/с, а сукна шинельного - при концентрации наночастиц серебра 0,5% и ННТП обработке в режиме: давление в вакуумной камере (P_k) = 25-27 Па; мощность разряда (W_p) = 4,0 кВт; время воздействия плазмой (τ) = 2 м/мин; расход плазмообразующего газа ($G_{возд}$) = 0,04 г/с.

*The results of scientific research aimed at solving the problems of improving the quality of natural textile materials for special clothing are presented. The purpose of the work was to develop a method for producing nanomodified textile materials for workwear through preliminary plasma treatment in a flow of nonequilibrium low-temperature plasma of low pressure, and then impregnation of silver nanoparticles with a colloidal solution, which made it possible to increase the breaking load, relative elongation at break and bio-stability of prototypes. The object of the study was special clothing made from «Semi-linen canvas» containing 100% cellulose-containing fibers and «Overcoat cloth» based on 87% wool, 13% polyester fibers. For experimental studies of control and nanomodified samples, an MT110-5 tensile testing machine was used, and test cultures of *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* O55 were used to determine the biostability of the samples. Nanomodification of textile materials for workwear was carried out first using an industrial plasma installation of periodic action «VATT 1500 PT PLASMA», and then impregnated with a colloidal solution of silver nanoparticles to assess the sensitivity of microorganisms to the action of antibiotics and antiseptics on solid nutrient media of experimental samples. In the developed nanomodified fabrics for workwear, the breaking load in «Half-linen canvas» increased from 22,3 to 26,3%, and in «Overcoat cloth» it ranged from 130 to 140%; the relative elongation at break increased accordingly from 35,9% to 86,7%. At the same time, the average rate of reduction in destructive stress under the influence of microflora *Bacillus subtilis* in control samples was 2,49% per day and in nanomodified samples 0.51% per day. Under the influence of *Escherichia coli* bacteria, O55 in control samples was 2,54% per day, and in nanomodified samples the rate was 0.6% per day. At the same time, it was established that textile fabrics «Half-linen canvas» for workwear achieve maximum mechanical properties with a concentration of silver nanoparticles of 0,3% and preliminary plasma treatment in a low-pressure NNTP flow: at an operating pressure in the vacuum chamber $P_k = 20 - 22$ Pa, exposure time $\tau=2$ m/min, discharge power $W_p = 1,7$ kW and plasma gas flow rate $G_{air} = 0,04$ g/s, and for «Overcoat cloth» at a concentration of silver nanoparticles of 0,5% and*

NNTP processing in the mode: pressure in the vacuum chamber (P_k) = 25-27 Pa; discharge power (W_p) = 4,0 kW; plasma exposure time (τ) = 2 m/min; flow of plasma-forming gas (G_{air}) = 0,04 g/s.

Ключевые слова: текстильный материал, парусина, сукно, неравновесная низкотемпературная плазма, механические свойства, наноструктурирование, специальная одежда, биостойкость.

Keywords: textile material, canvas, cloth, nonequilibrium low-temperature plasma, mechanical properties, nanostructuring, special clothing, biostability.

Повышение качества и конкурентоспособности продукции является одной из ключевых задач текстильной промышленности, решаемых путем создания эффективных ресурсосберегающих технологий, позволяющих повысить механические и бактерицидные свойства. Проблема повышения качества текстильных материалов для специальной одежды носит сложный комплексный характер и включает учет множества различных требований, из которых прежде всего выделяют технологические и эксплуатационные, определяющие соответствие специальной одежды своему назначению. При этом необходим достаточный ресурс защитных свойств, гарантирующий надежность изделий в эксплуатации [1], а качество текстильных материалов во многом определяет срок эксплуатации спецодежды [2].

Спецодежда из текстильных материалов (парусина, сукно), предназначенная для проведения сварочных работ, известна и представлена на российском рынке. Созданию качественно новых натуральных материалов из шерсти, хлопка и льна сегодня уделяется особое внимание во всем мире. Во-первых, создаются огнеупорные и термостойкие хлопчатобумажные ткани со специальной обработкой. Во-вторых, развивается производство тканей на основе синтетических волокон, таких, как арамиды, иногда – в сочетании с хлопком или вискозой. В-третьих, есть особые материалы для работы в условиях открытого пламени, и некоторые производители творчески подходят к переосмыслению этого традиционного типа спецодежды [3].

Существующие методы управления структурой натуральных материалов, в

легкой промышленности имеют свои недостатки. Они требуют больших затрат времени и труда, а также специальных химических активаторов, специализированного оборудования и дополнительных производственных площадей. Кроме того, в некоторых случаях эти методы могут быть токсичными и небезопасными для окружающей среды. При реализации этих методов возникают трудности, связанные с соединением текстильных материалов с огнестойкими покрытиями [4-6].

Особое внимание уделяется группе показателей надежности и стойкости спецодежды. Эти показатели соответственно объединяют механические свойства, такие, как разрывная нагрузка и относительное разрывное удлинение, а также биостойкость опытных образцов спецодежды [7].

С появлением новых технологий и исследований в области управления микроструктурой натуральных материалов открываются новые перспективы для создания эффективных и экологически безопасных способов их обработки. Одним из таких способов являются нанотехнологии, которые позволяют изменять структуру и свойства текстильных материалов. Применение коллоидного раствора наночастиц серебра (КРНС), например, позволяет контролировать микроструктуру и повышать биостойкость материалов без использования токсичных химических веществ.

Кроме того, активно ведутся исследования в области нанесения полимерных покрытий на поверхность текстильных материалов. Новые методы модификации текстильных материалов, такие, как электростатическое и плазменное наноструктурирование, позволяют достичь прочного и

надежного соединения КРНС с поверхностью материалов, улучшая их стойкость и долговечность. Это открывает новые возможности для создания качественной и надежной спецодежды для сварщиков.

Развитие новых методов управления микроструктурой натуральных материалов имеет несколько преимуществ. Во-первых, эти методы позволяют достичь повышенных механических свойств материалов, что важно для создания прочной и долговечной спецодежды. Во-вторых, использование таких методов не требует применения токсичных веществ, что положительно сказывается на экологической безопасности производства. Кроме того, новые методы управления микроструктурой материалов обладают еще одним преимуществом - они позволяют сократить затраты на оборудование и производственные площади, что делает производство тканей для спецодежды более эффективным и экономически выгодным.

Вместе с тем развитие новых методов управления микроструктурой натуральных материалов требует дальнейших исследований и технологического совершенствования. Необходимо учитывать, как потенциальные преимущества, так и возможные недостатки этих методов. Например, при использовании нанотехнологий необходимо обеспечить безопасность и контроль за выделением наночастиц в окружающую среду. Также важно разрабатывать новые способы нанесения полимерных покрытий, чтобы обеспечить их равномерное распределение и минимизировать возможность возникновения дефектов.

Таким образом, развитие новых методов управления микроструктурой натуральных текстильных материалов легкой промышленности открывает широкие перспективы для создания качественной и экологически безопасной спецодежды. Применение нанотехнологий и новых методов нанесения полимерных покрытий позволяет улучшить характеристики материалов без использования токсичных веществ, что является важным шагом в развитии устойчивых и инновационных решений в области производства спецодежды.

Повышение качества текстильных материалов для спецодежды является не легкой задачей, реализация которой основывается на применении нанотехнологий, которые связаны с воздействием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления для улучшения их механических свойств и закрепления КРНС на поверхности материалов.

Поскольку полученный текстильный материал используется для пошива костюмов сварщиков и специалистов химической промышленности, которые подвергаются в процессе их эксплуатации воздействию высокой температуры и различных агрессивных сред. Поэтому качественная специальная одежда из текстильных материалов должна полностью выдерживать механические нагрузки и деформации, материал должен отлично выдерживать резкие скачки температуры и другие негативные воздействия погодных условий.

В данной работе приведены результаты исследования влияния потока ННТП пониженного давления на механические свойства и биостойкость текстильных материалов для специальной одежды, которые проводились на контрольных и наномодифицированных образцах.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбран ассортимент специальной одежды, изготовленный из тканей: парусина полупульняная с содержанием 100% целлюлозосодержащих волокон и сукно шинельное на основе 87% шерстяных и 13% полиэфирных волокон, характеристики которых представлены в табл. 1.

Наноструктурирование опытных образцов текстильных материалов для спецодежды осуществляли на полупромышленной плазменной установке периодического действия «ВАТТ 1500 ПТ ПЛАЗМА». Специфической особенностью комплекса является непрерывная подача рулонных тканей в камеру и межэлектродное пространство в условиях вакуума и потока ННТП пониженного давления.

Т а б л и ц а 1

№ образца	Наименование тканей	Артикулы	Поверхностная плотность, г/м ²	Состав текстильных материалов				Виды пропиток
				шерсть овечья	полиэфир	лен	хлопок	
1.	Сукно шинельное серое 2С-4ОП Цвет серый	6425	760	87	13	-	-	огнестойкая, особопрочная
2.	Полульняная парусина	11292	550±40	-	-	50	50	светопрочная комбинированная пропитка повышенной водостойкости, огнестойкости

Наноструктурирование происходило в потоке ННТП при температуре 80⁰С в сети переменного тока напряжением 380/220 В ± 5%, частотой 13,56МГц. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух.

Варьирование входных параметров плазменной установки осуществлялось в диапазоне: мощность разряда W_p от 3,0 до 4,5 кВт, расход плазмообразующего газа G от 0 до 0,06 г/с, давление в вакуумной камере P_k от 20 до 30 Па и время обработки (τ) от 1 до 3 м/мин.

После плазменного наноструктурирования текстильных материалов проводилась последующая пропитка КРНС для проведения равномерной биоцидной обработки, чтобы наночастицы серебра лучше поглощались и равномерно распределялись на поверхности натуральных материалов.

Осуществлялась оценка качественных характеристик надежности образцов после наноструктурирования в потоке ННТП пониженного давления по показателям разрывная нагрузка и относительное разрывное удлинение. Определение данных характеристик в контрольных и наноструктурированных образцах текстильных материалов проводили при одноосном растяжении материалов на разрывной машине МТ110-5 согласно ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) [8].

Полученные опытные образцы одежды текстильных материалов для спецодежды, прежде всего, должны соответствовать требованиям безопасности труда ГОСТ Р ЕН 340-210 (EN 340:2003).

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлена гистограмма изменения разрывной нагрузки исследуемых образцов текстильных материалов от воздействия потока ННТП пониженного давления и КРНС. Экспериментальные исследования образцов показали, что для улучшения прочности парусины полульняной более чем на 26,4 % требуется обработка при концентрации наночастиц серебра 0,3% и плазменном наномодифицировании в режиме: давление в вакуумной камере $P_k = 20-21$ Па; мощность разряда $W_p = 3,5$ кВт; время воздействия плазмой $\tau = 3$ м/мин; расход плазмообразующего газа $G_{\text{возд}} = 0,04$ г/с, а для сукна шинельного – при концентрации наночастиц серебра 0,5% и плазменном наномодифицировании в режиме: давление в вакуумной камере $P_k = 25-27$ Па; мощность разряда $W_p = 4,0$ кВт; время воздействия плазмой $\tau = 2$ м/мин; расход плазмообразующего газа $G_{\text{возд}} = 0,04$ г/с.

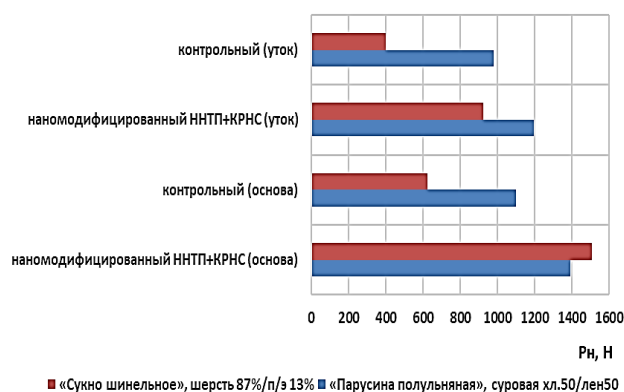


Рис. 1

Как видно из рис. 1, в опытных образцах наномодифицированных текстильных материалов для спецодежды после закрепления КРНС потоком ННТП пониженного давления, разрывная нагрузка (P_n) парусины полульняной повысилась относительно контрольных образцов на 22,3-26,3%, а сукна шинельного на 130-140%.

Полученные результаты влияния параметров наномодифицирования опытных образцов на относительное разрывное удлинение натуральных текстильных материалов для спецодежды представлены на рис. 2.

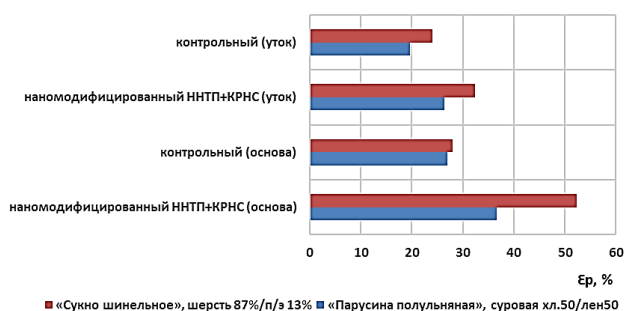


Рис. 2

Исследования (рис. 2) показали, что в том же режиме наномодифицирования образцов парусины полульняной при $P_k = 20-21$ Па; $W_p = 3,5$ кВт; $\tau = 3$ м/мин; $G_{возд} = 0,04$ г/с относительное разрывное удлинение увеличилось до 35,9% как по основе, так и по утку, а для сукна шинельного при концентрации наночастиц серебра 0,5% и плазменном наномодифицировании в режиме: $P_k = 25-27$ Па; $W_p = 4,0$ кВт; $\tau = 2$ м/мин; $G_{возд} = 0,04$ г/с относительное разрывное удлинение повысилось на 86,7% по основе и на 35 % по утку, что превышает требования ГОСТ.

Биостойкость образцов текстильных материалов оценивали с использованием стандартного метода исследования чувствительности микроорганизмов к действию антибиотиков и антисептиков на твердых питательных средах (диффузионный метод бумажных дисков) по ГОСТ [9]. В работе использовали тест-культуры *Bacillus subtilis* и *Escherichia coli* O55. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Виды экспериментальных образцов	Вид микрофлоры	Коэффициент биостойкости по разрывной нагрузке			Среднее значение снижения разрывной нагрузки в сутки, %
		Время воздействия микрофлоры, сутки			
		5	10	15	
Контрольный	<i>Bacillus subtilis</i>	75,6	73,6	50,7	2,49
	<i>Escherichia coli</i> O55	78,1	71,6	52,7	2,54
Наномодифицированный ННТП+КРНС	<i>Bacillus subtilis</i>	96,7	94,1	91,6	0,51
	<i>Escherichia coli</i> O55	96,4	92,6	90,2	0,62

Как видно из полученных данных табл. 2, коэффициент биостойкости всех исследованных текстильных материалов снижается с увеличением времени воздействия микроорганизмов, при этом следует отметить, что действие бактерий *Escherichia coli* O55 более сильное по сравнению с действием бактерий *Bacillus subtilis*. Среднее снижение прочности тканей под действием микрофлоры *Bacillus subtilis* в контрольных образцах составило 2,49% в сутки, в наномодифицированных – 0,51% в сутки, под действием бактерий

Escherichia coli O55 в контрольных образцах – 2,54% в сутки, в наномодифицированных – 0,62%. То есть снижение прочности меньше в 4,0 раза, чем у контрольных образцов.

В Ы В О Д Ы

Применение комбинированного метода обработки – наномодифицирования КРНС и потоком ННТП пониженного давления способствует повышению разрывной нагрузки и относительного разрывного

удлинения, а также биостойкости. Данный факт позволяет рекомендовать данный вид обработки для текстильных материалов для спецодежды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хамматова Э.А., Абуталипова Л.Н. Сохранение качества наноструктурированных текстильных материалов после эксплуатационной носки специальной одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 83...88.

2. Малых А.Р. Ассортимент современных огнестойких текстильных материалов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т.3. С. 116...120. – <http://e-koncept.ru/2016/56035.htm>.

3. Новые идеи и решения СИЗ для сварщика: <https://getsiz.ru/novye-idei-i-resheniya-siz-dlya-svarshchika.html> (дата обращения: 11.12.22).

4. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф. Влияние потока плазмы на повышение физико-механических свойств технических материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 6. С. 56...62.

5. Коломейцева Э.А., Смирнов Г.А., Морыганов А.П. Инновационный технический текстиль военного и гражданского назначения с использованием огнезащитных препаратов Термотекс // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405) С. 133... 138.

6. Новые разработки ООО "Апотекс". – www.apotex.ru.

7. Зурабян К.М., Краснов Б.Я., Пустильник Я.И. Материаловедение швейного в производстве изделий легкой промышленности. М.: Информ-Знание, 2003. 384 с.

8. ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении. М.: Изд-во стандартов, 1973. 6 с.

9. ГОСТ 9.060–75 Ткани. Метод лабораторных испытаний на устойчивость к микробиологическому разрушению. М.: Изд-во стандартов, 1976. 8 с.

REFERENCES

1. Khammatova E.A., Abutalipova L.N. Preservation of the quality of nanostructured textile materials after operational wear of special clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. No. 5 (395). P. 83...88.

2. Malykh A.R. Assortment of modern fire-resistant textile materials // Scientific and methodological electronic journal "Concept". 2016. T. 3. P. 116...120. – <http://e-koncept.ru/2016/56035.htm>.

3. New ideas and solutions of PPE for welder: <https://getsiz.ru/novye-idei-i-resheniya-siz-dlya-svarshchika.html> (date of notification: 11.12.22).

4. Khammatova V.V., Gainutdinov R.F. Effect of plasma flow on improving the physical and mechanical properties of technical materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020, 6. P. 56...62.

5. Kolomeitseva E.A., Smirnov G.A., Moryganov A.P. Innovative technical textiles for military and civil purposes using fire-retardant preparations Thermotex // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023, No. 3(405). P. 133... 138.

6. New developments of Apotex LLC. – www.apotex.ru.

7. Zurabyan K.M., Krasnov B.Ya., Pustilnik Ya.I. Material science of sewing in the production of light industry products. M.: Publishing center "Academy", 2003. 384 p.

8. GOST 3813-72 (ISO 5081-77, ISO 5082-82) Textile materials. Fabrics and piece goods. Methods for determination of tensile breaking characteristics. M.: Standards Publishing House, 1973. 6 p.

9. GOST 9.060–75 Fabrics. Method of laboratory testing for resistance to microbiological destruction. M.: Standards Publishing House, 1976. 8 p.

Рекомендована кафедрой дизайна ФГБОУ ВО «КНИТУ». Поступила 11.09.23.